

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP04/014528

International filing date: 21 December 2004 (21.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 103 60 728.5  
Filing date: 23 December 2003 (23.12.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 04 April 2005 (04.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

11 MAR 2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

103 60 728.5

**Anmeldetag:**

23. Dezember 2003

**Anmelder/Inhaber:**

DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:**Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung eines  
Fahrzeugzustandes**IPC:**

G 05 D, B 60 T, B 60 G

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 1. März 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Dzierzon

DaimlerChrysler

Wied

18.12.2003

## Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes und insbesondere ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung zur Bestimmung von Fahrzeugzuständen, deren Kenntnis zur Stabilisierung eines Fahrzeuges bei Erreichen eines Kippwinkels erforderlich sind.

Bei modernen Kraftfahrzeugen nimmt der Einfluss elektrischer und elektronischer Fahrsicherheitssysteme, wie beispielsweise ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm), welches ein Schleudern eines Fahrzeugs im Rahmen fester physikalischer Grenzen verhindern soll, stetig zu. Da aus Kostengründen eine Detektion kritischer Fahrzustände bzw. Bewegungszustände des Fahrzeugs mit möglich wenig Sensormitteln erfolgen soll, ist man bestrebt, Bewegungsgrößen bzw. Bewegungszustände anhand weniger gemessener Parameter bestimmen zu können.

Aus der DE 41 23 053 ist ein Verfahren zur Bestimmung wenigstens einer Bewegungsgröße eines Fahrzeugs bekannt. Dabei wird mit den Messgrößen einer Querschleunigung und eines Lenkwinkels an beiden Fahrzeugachsen eine Quergeschwindigkeit und/oder eine Giergeschwindigkeit des Fahrzeugs oder eine davon abhängige Bewegungsgröße beschrieben. Zur Auswertung der

erfassten Messgrößen wird eine Kombination aus zwei adaptiven, äquivalenten Kalman-Filterpaaren zugeführt, wobei dem einen Filterpaar eine Messgrößensumme und dem anderen Filterpaar eine Messgrößendifferenz zugeführt wird.

In der DE 195 15 055 ist eine Fahrstabilitäts-Regelschaltung mit geschwindigkeitsabhängigem Wechsel des Fahrzeugmodells beschrieben, bei welcher ein Sollwert einer Gierwinkelgeschwindigkeit mit Hilfe eines Fahrzeugmodells errechnet wird. Um einen möglichst genauen Wert sowohl bei sehr hohen, als auch bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten mit Hilfe der Fahrzeugmodellschaltung berechnen zu können, sind innerhalb der Fahrzeugmodellschaltung zumindest zwei Fahrzeugmodelle vorgesehen, welchen geeignete Geschwindigkeitsbereiche zugeordnet sind, wobei in Abhängigkeit von dem gerade genutzten Geschwindigkeitsbereich zwischen beiden Modellen umgeschaltet wird. Dabei sind eine Hysterese der beiden Geschwindigkeitschwellwerte, bei denen umgeschaltet wird, sowie Mittel zur Vermeidung von Sprüngen in dem Ausgangssignal der Fahrzeugmodellschaltung bei einer entsprechenden Umschaltung zwischen den Modellen beschrieben.

Die beiden eben genannten, bekannten Verfahren bzw. Vorrichtungen sind jedoch nicht geeignet, den Übergang von einem ersten Fahrzeugzustand zu einem anderen Fahrzeugzustand bzw. Bewegungszustand des Fahrzeugs, insbesondere von einer Wankbewegung in eine Kippbewegung, zu bestimmen, um so entsprechende Gegenmaßnahmen, beispielsweise durch einen Bremsengriff zur Stabilisierung, insbesondere systemimmanent, auszuführen.

Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Aufgabe besteht nun darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Be-

stimmung eines Fahrzeugzustandes, insbesondere eines Fahrzeugbewegungszustandes, bereitzustellen, womit auf sichere und möglichst eindeutige Weise eine Kippbewegung eines Fahrzeugs identifiziert werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie durch eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes mit den Merkmalen des Patentanspruchs 12 gelöst.

Demgemäß ist vorgesehen:

- Ein Verfahren zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes mit den Verfahrensschritten: Abschätzen eines ersten Zustands eines Fahrzeugs mittels eines ersten Fahrzeugmodells anhand vorbestimmter Parameter; Abschätzen eines zweiten Zustands des Fahrzeugs mittels eines zweiten Fahrzeugmodells anhand der vorbestimmten Parameter; gewichtetes Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell beim Übergang des Fahrzeugs von dem ersten Zustand in den zweiten Zustand in Abhängigkeit von mindestens einem abgeschätzten Parameter.  
(Patentanspruch 1)
- Eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes, mit einer ersten Schätzeinrichtung zum Abschätzen eines ersten Zustands eines Fahrzeugs mittels eines ersten Fahrzeugmodells anhand vorbestimmter Parameter; mit einer zweiten Schätzeinrichtung zum Abschätzen eines zweiten Zustands des Fahrzeugs mittels eines zweiten Fahrzeugmodells anhand der vorbestimmten Parameter; mit einer Umschalteinrichtung zum gewichteten Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell

beim Übergang des Fahrzeugs von dem ersten Zustand in den zweiten Zustand in Abhängigkeit von mindestens einem abgeschätzten Parameter. (Patentanspruch 12)

Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Idee besteht im Wesentlichen darin, Bewegungszustände eines Fahrzeugs, insbesondere ein Wank- bzw. Kippwinkel, über eine gesamte Wank- bzw. Kippbewegung abzuschätzen, wobei bezüglich der Wankbewegung sowie bezüglich der Kippbewegung jeweils unterschiedliche Fahrzeugmodelle, insbesondere unterschiedliche Kalman-Filter, eingesetzt werden. Die von den Fahrzeugmodellen geschätzten Zustände werden in Abhängigkeit des vorliegenden Wank- bzw. Kippverhaltens gewichtet und überlagert, so dass der Übergang von den Schätzungen des für die Wankbewegung vorgesehenen Fahrzeugmodells zu den Schätzungen des für die Kippbewegung vorgesehenen Fahrzeugmodells fließend erfolgt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnung entnehmbar.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung bildet das erste Fahrzeugmodell mittels eines ersten Kalman-Filters und das zweite Fahrzeugmodell mittels eines zweiten Kalman-Filters Bewegungszustände des Fahrzeugs nach.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung steht der erste Zustand für eine Wankbewegung des Fahrzeugs und der zweite Zustand für eine Kippbewegung des Fahrzeugs, wobei eine Wankbewegung eine Drehbewegung um eine Fahrzeuglängsachse mit Bodenkontakt aller Räder beschreibt und eine Kippbewegung einer

auf die Wankbewegung folgenden Drehbewegung mit Verlust des Bodenkontakts der Räder einer Spur entspricht.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird bei dem gewichteten Übergang von dem ersten Zustand auf den zweiten Zustand das zweite Fahrzeugmodell mit Parametern des Zustands des ersten Fahrzeugmodells initialisiert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung erfolgt die Gewichtung bei der Umschaltung in Abhängigkeit eines geschätzten Winkels, vorzugsweise eines Wank- oder Kippwinkels des Fahrzeugs. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Gewichtung bei der Umschaltung mit einem linearen Anstieg der Gewichtung des zweiten Fahrzeugmodells bei einem gleichzeitigen linearen Abfall der Gewichtung des ersten Fahrzeugmodells erfolgt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung erfolgt die Umschaltung, wenn der Winkel zwischen einem ersten vorbestimmten Winkel und einem zweiten vorbestimmten Winkel liegt, wobei vorzugsweise der erste vorbestimmte Winkel einen Fahrzeugwinkel beschreibt, bei welchem ein erstes entlastetes Rad einer Spur abhebt, und der zweite vorbestimmte Winkel einen Fahrzeugwinkel beschreibt, bei welchem ein zweites entlastetes Rad derselben Spur den Bodenkontakt verliert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden bei der Abschätzung des ersten Zustands als Störgrößen eine Fahrbahnlängsneigung, eine Fahrbahnquerneigung, eine Fahrbahnquerneigungsrate und/oder ein Fahrbahnreibungswert nachgebildet und mit berücksichtigt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden die Fahrbahnlängsneigung und die Fahrbahnquerneigungsrate durch einen Markov-Prozess nachgebildet. Die Fahrbahnreibung wird vorteilhafterweise als quasikonstante Größe modelliert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden bei Bestimmung eines Kippens des Fahrzeugs als Bewegungszustand einzelne Radbremsen des Fahrzeugs selektiv aktiviert, um eine Stabilisierung des Fahrzeugs zu erzielen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird bei der Fahrzeugmodellierung die Fahrzeugmasse, die Lage des Fahrzeugschwerpunktes, der Radstand, die Spurweite und/oder die Wankcharakteristik, insbesondere die Wanksteife, und/oder die Fahrzeugdämpfung berücksichtigt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden mittels vom Fahrzeug bereitgestellter Bremsdrücke pro Rad sowie bereitgestellter Radumdrehungszahlen Umfangskräfte einzelner Räder, vorzugsweise mittels eines deterministischen Luenberger-Beobachtersystems, eine Fahrzeuglängsbeschleunigung geschätzt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist eine Gierbeschleunigungsmesseinrichtung, eine Querschleunigungsmesseinrichtung und vorzugsweise eine Längsbeschleunigungsmesseinrichtung und/oder eine Wankratenmesseinrichtung zum Bereitstellen der vorbestimmten Parameter vorgesehen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnung angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigt dabei:



- Fig. 1 ein schematisches Blockdiagramm zur Erläuterung der Funktionsweise einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 2 ein schematisches Gewichtungsdigramm zur Erläuterung der Funktionsweise einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 3 eine schematische Seitenansicht eines Kraftfahrzeugs;
- Fig. 4 eine schematische Draufsicht auf ein Kraftfahrzeug; und
- Fig. 5 eine schematische Heckansicht eines Kraftfahrzeugs, jeweils zur Erläuterung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

In den Figuren der Zeichnung sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente und Merkmale - sofern nichts anderes angegeben ist - mit denselben Bezugszeichen versehen worden.

In Fig. 1 ist schematisch ein Blockdiagramm eines Verfahrensablaufs zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes zur Erläuterung einer bevorzugten Ausführungsform dargestellt. Eine vorzugsweise von einem Beschleunigungssensor gemessene Querschleunigung  $a_y$  in Querrichtung eines Fahrzeugs, das heißt in y-Richtung, wird einer ersten Schätzeinrichtung 10 und einer zweiten Schätzeinrichtung 11 zugeführt. Ebenso wird eine ermittelte Gierratenbeschleunigung  $\ddot{\psi}$  ebenfalls einer ersten und zweiten Schätzeinrichtung 10, 11 zugeführt. In den Schätzeinrichtungen 10, 11 erfolgen jeweils separate Zustandsschätzungen anhand von einem ersten Fahrzeugmodell in der ersten Schätzeinrichtung 10 und einem zweiten Fahrzeugmodell in der zweiten Schätzeinrichtung 11. Zur Fahrzeugmodellierung werden sowohl in der ersten als auch in der zweiten Schätz-

einrichtung 10, 11 vorzugsweise unterschiedliche Kalman-Filter eingesetzt. In die Fahrzeugmodellierungen mittels der vorzugsweise einzelnen Kalman-Filter fließt sowohl die Masse des Fahrzeugs  $m$  als auch die Lage des Schwerpunktes  $S$  im Fahrzeug  $F$ , der Radstand des Fahrzeugs, die Spurweite vorn und hinten sowie die Wankcharakteristik, das heißt insbesondere die Wanksteifigkeit und Dämpfung des Fahrzeugs, mit ein. Mit dem ersten Fahrzeugmodell wird der Zustand mittels eines Wankbeobachters abgeschätzt.

Beim zweiten Fahrzeugmodell wird ein Kippbeobachter zur Abschätzung des Bewegungszustands in der zweiten Abschätzeinrichtung 11 eingesetzt. Daraufhin erfolgt eine Gewichtung des Wankbeobachters 12 sowie eine davon getrennte Gewichtung des Kippbeobachters 13. Beide entsprechend gewichteten Bewegungszustandsabschätzungen werden dann in einer Addiereinrichtung  $\Sigma$  addiert zu einer Zustandsschätzung der kombinierten Beobachter 14. Die Gewichtung des Wankbeobachters 12 und des Kippbeobachters 13 bei der Zustandsschätzung gehen exemplarisch aus Fig. 2 hervor.

In Fig. 2 ist schematisch ein Gewichtungsdigramm über dem in den Abschätzeinrichtungen 10, 11 abgeschätzten Wank- bzw. Kippwinkel  $|\varphi|$  dargestellt. Die Ordinate weist einen Faktor zwischen 0 und 1 als Gewichtungsfaktor zur Multiplikation mit der entsprechenden Zustandsschätzung des Wankbeobachters oder Kippbeobachters, das heißt des ersten Fahrzeugmodells oder des zweiten Fahrzeugmodells, auf. Gemäß Fig. 2 verläuft die Gewichtung des Wankbeobachters 12 mit dem Faktor 1 bis zu dem Winkel  $|\varphi_1|$  und fällt dann linear zwischen dem Winkel  $|\varphi_1|$  und  $|\varphi_2|$  bis auf 0 ab. Entsprechend steigt die Gewichtung des

Kippbeobachters 13 von dem Wert 0 beim Winkel  $|\varphi_1|$  linear zum Wert 1 beim Winkel  $|\varphi_2|$  an. Beide Gewichtungsfunktionen 12, 13 gemäß Fig. 2 können sowohl zu steigendem  $|\varphi|$  als auch in Richtung kleinerer  $|\varphi|$  durchlaufen werden. Die Winkel  $|\varphi_1'|$  bzw.  $|\varphi_2'|$  stehen für alternative Winkel, woraus eine weniger steiler Anstieg bzw. Abfall der Gewichtungsfunktionen 12, 13 resultiert. So ist gegebenenfalls bei einer Wank- bzw. Kippbewegung nur die linke Spur ein anderer vorbestimmter Winkel  $|\varphi_1'|$ ,  $|\varphi_2'|$  zu wählen, als bei einer entsprechenden Bewegung über die rechte Spur eines Fahrzeugs. Der Winkel  $|\varphi|$  ist ein von den Beobachtersystemen geschätzter Wank- bzw. Kippwinkel, wobei  $|\varphi_1|$  für einen Winkel steht, bei welchem ein Rad einer Spur den Bodenkontakt verliert und bei  $|\varphi_2|$  beide Räder einer Spur keinen Bodenkontakt mehr aufweisen.

Zur Stabilisierung einer Kippbewegung von Fahrzeugen F mit hoher Schwerpunktlage kann durch gezielte Bremseingriffe an einzelnen Rädern R eines solchen Fahrzeugs F wie beispielsweise eines Lastkraftwagens oder eines Transporters ein Roll-Over bzw. Umkippen oder Überschlagen dieser Fahrzeuge innerhalb vorbestimmter physikalischer Grenzen verhindert werden. Damit ein solches Reglerkonzept effektiv arbeiten kann, ist es erforderlich, dass diesem System verschiedene Fahrzeugzustände zur Analyse zur Verfügung gestellt werden. Solche Zustände können jedoch nur teilweise direkt durch vorhandene Sensoren erfasst bzw. gemessen werden. Deshalb ist es geboten, die darüber hinaus benötigten Zustände des Fahrzeugs

mittels eines Beobachterverfahrens abzuschätzen. Als Basisgleichung verschiedener Beobachterverfahren gilt:

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}} &= \hat{f}(\hat{x}, u) + K(\hat{x}, u) \cdot (y - \hat{y}) \\ \hat{y} &= \hat{h}(\hat{x}, u)\end{aligned}\tag{1}$$

Der Unterschied zwischen verschiedenen Beobachterverfahren besteht in der Berechnung der Rückkopplungsmatrix  $K(x, u)$ , wobei gemäß der vorliegenden bevorzugten Ausführungsform ein Kalman-Filter eingesetzt wird, das zur Berechnung der Rückkopplungsmatrix  $K(x, u)$  die stochastischen Eigenschaften des Systems berücksichtigt. Zur Stabilisierung eines Fahrzeugs bei einem auftretenden Kippwinkel  $\phi$  wird allgemein die Kenntnis der folgenden Fahrzeugzustände vorausgesetzt: Geschwindigkeit in Fahrzeuginnenrichtung  $v_x$ , Geschwindigkeit in Fahrzeugaußenrichtung  $v_y$ , der Wank- bzw. Kippwinkel  $\phi$ , sowie die Wank- bzw. Kipptrate  $\dot{\phi}$ . Unter Wankbewegung wird im folgenden eine Drehbewegung um eine Fahrzeuginnenachse, das heißt x-Achse, verstanden, welche durch eine Einfederung eines Fahrzeugs  $F$  auf einer Spurseite entsteht. Bei einer Wankbewegung weisen alle Räder  $R$  Bodenkontakt auf. Ist eine Spur des Fahrzeugs vom Boden abgehoben, so wird die Drehbewegung um die Fahrzeuginnenachse im nachstehenden als Kippbewegung bzw. Kippen bezeichnet.

Um die oben genannten, erforderlichen Fahrzeugzustände über die gesamte Wank- und Kippbewegung eines Fahrzeugs beobachten zu können, werden gemäß einer bevorzugten Ausführungsform zwei verschiedene Kalman-Filter zur Fahrzeugmodellierung eingesetzt. Dabei übernimmt das erste Kalman-Filter die Schätzung der Fahrzeugzustände während der Wankbewegung, wohingegen das zweite Kalman-Filter die Zustände während der Kippbewe-

gung zur Fahrzeugmodellierung abschätzt. Grundsätzlich ist die Schätzung der benötigten Fahrzeugzustände bei Nutzung eines geeigneten Modells darüber hinaus auch mit einem einzelnen Kalman-Filter möglich. Die Basis für die zur Schätzung der Wankbewegung eingesetzten Filtereinrichtung bilden die folgenden Bewegungsgleichungen der horizontalen Geschwindigkeiten:

$$\begin{aligned}\dot{v}_y &= -\dot{\Psi}v_x + a_y \\ \dot{v}_x &= \dot{\Psi}v_y + a_x\end{aligned}\tag{2}$$

Eine Geschwindigkeitsänderung  $\dot{v}_x$  in y-Richtung entspricht somit dem negativen Produkt aus einer Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\Psi}$  und einer Fahrzeuglängsgeschwindigkeit  $v_x$  in Addition mit einer Beschleunigung  $a_y$  in y-Richtung. Außerdem gleicht eine Geschwindigkeitsänderung  $\dot{v}_x$  in x-Richtung dem Produkt aus der Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\Psi}$  und der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_y$  in Querrichtung plus einer Beschleunigung  $a_x$  in Längsrichtung. Nutzt man innerhalb dieser beiden Gleichungen die mittels Sensoren gemessenen horizontalen Beschleunigungen  $a_y$ ,  $a_x$  als Eingangssignale, so ergeben sich nach einer Transformation aus einem fahrzeugfesten in ein fahrbahnfestes Koordinatensystem bzw. Bezugssystem folgende linearisierte Systemgleichungen für das Wankfilter:

$$\begin{aligned}\dot{v}_x &= \dot{\Psi}v_y + g(\theta + \Theta) + a_x^{sensor} \\ \dot{v}_y &= -\dot{\Psi}v_x - g(\varphi + \Phi) + a_y^{sensor}\end{aligned}\tag{3}$$

Im Vergleich zum Gleichungssystem (2) kommt für den Term in Fahrzeuglängsrichtung das Produkt aus der Erdbeschleunigung  $g$

mit der Summe aus einem Fahrzeugnickwinkel  $\theta$  und einer Fahrbahnsteigung  $\Theta$  hinzu. Bei der Bewegungsgleichung in  $y$ -Richtung ergibt sich ein subtraktiver Zusatzterm als Produkt aus der Erdbeschleunigung  $g$  mit der Summe aus dem Wankwinkel  $\varphi$  gemessen über der Fahrbahn plus der Fahrbahnquerneigung  $\Phi$ . Als weitere Basisgleichung dient eine Differenzialgleichung der Wankdynamik, welche bei kleinen Wankwinkeln gilt und aus dem Drallsatz um die Fahrzeuglängsachse resultiert:

$$\ddot{\varphi} = \frac{\Delta h_s (F_{sv} + F_{sh} + m(a_z + g)\varphi) + M_w}{J_{xx}} \quad (4)$$

wobei  $\ddot{\varphi}$  für die Wankwinkelbeschleunigung  $\Delta h_s$  für eine Schwerpunktverlagerung,  $F_{sv}$  für die vordere Seitenkraft der Räder,  $F_{sh}$  für die Seitenkraft der Räder R der Hinterachse  $A_h$ ,  $m$  für die Fahrzeugmasse,  $a_z$  für die Beschleunigung in  $Z$ -Richtung, welches der Hochachse im Fahrzeug  $F$  entspricht,  $M_w$  einem Wankmoment und  $J_{xx}$  einem Trägheitsmoment um die Fahrzeuglängsachse entspricht. Lässt man bei dieser Gleichung das Wankmoment  $M_w$  einfließen mit:

$$M_w = -c_\varphi \cdot \varphi - d_\varphi \cdot \dot{\varphi} \quad (5)$$

wobei  $c_\varphi$  und  $d_\varphi$  vorbestimmte vorzugsweise konstante Größen darstellen. Drückt man die Seitenkräfte der Räder  $F_{sv}$ ,  $F_{sh}$  durch die Querbeschleunigung aus entsprechend:

$$F_{sv} + F_{sh} = m(a_y + g\Phi) \quad (6)$$

so ergibt sich die linearisierte Systemgleichung für die Wankdynamik innerhalb des Fahrzeugmodells, vorzugsweise innerhalb des Kalman-Filters, zu:

$$\ddot{\phi} = -\frac{c_{\phi}}{J_{xx}}\phi - \frac{d_{\phi}}{J_{xx}}\dot{\phi} + \frac{\Delta h_s m}{J_{xx}}a_y^{sensor} + w_{\phi}(t) \quad (7)$$

wobei der Term  $w_{\phi}(t)$  für einen von der Zeit abhängigen Störgrößenterm steht, entsprechend einem stochastischen Rauschen. Als Störgrößen werden des weiteren die Fahrbahnlängsneigung  $\Theta$ , die Fahrbahnquerneigung  $\Phi$ , die Fahrbahnquerneigungsrate  $\dot{\Phi}$  sowie der Fahrbahnreibwert  $\mu$  modelliert. Vorzugsweise werden dabei die Fahrbahnlängsneigung  $\Theta$  und die Fahrbahnquerneigungsrate  $\dot{\Phi}$  durch einen Markov-Prozess entsprechend einem farbigen Rauschen nachgebildet, welches auf ein weißes Rauschen zurückgeführt wird, da es sich bei diesen beiden Größen um stochastische, korrelierte Größen handelt. Der Fahrbahnreibwert  $\mu$  wird insbesondere als quasikonstante Größe modelliert.

Aus den Figuren 3, 4, 5a und 5b werden schematisch die Richtungen bzw. Winkel der verschiedenen Größen illustriert. In Fig. 3 ist eine Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_x$  in Fahrzeuglängsrichtung dargestellt, welche exemplarisch am Fahrzeugschwerpunkt S angreift, auf welchen die Gewichtskraft  $m \cdot g$  radial zum Erdmittelpunkt wirkt. Der Fahrzeugbewegung in  $v_x$ -Richtung wirkt eine Reifenreibungskraft entgegen, welche exemplarisch durch den Fahrbahnreibwert  $\mu$  veranschaulicht ist. Eine mögliche Fahrbahnlängsneigung mit dem Neigungswinkel  $\Theta$  geht ebenfalls aus der schematischen Seitenansicht gemäß Fig. 3 hervor. In der schematischen Draufsicht nach Fig. 4 ist wiederum die Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_x$  in Fahrzeuglängsrichtung

sowie je eine Geschwindigkeit  $v_y$  in Fahrzeugquerrichtung dargestellt. Darüber hinaus ist am Schwerpunkt S angreifend eine Gierrate  $\dot{\Psi}$  sowie eine Gierratenbeschleunigung  $\ddot{\Psi}$  beispielhaft verdeutlicht. Fig. 5a und 5b verdeutlicht den Fahrzeugneigungswinkel  $\phi$  sowie die Neigungswinkelrate  $\dot{\phi}$  und Neigungswinkelbeschleunigung  $\ddot{\phi}$  sowie nochmals die Fahrzeugquergeschwindigkeit  $v_y$  mit einer entsprechend in die entgegengesetzte Richtung dargestellten Reibungskraft, welche abhängig von dem Fahrbahnreibungwert  $\mu$  auf die Fahrzeugräder R wirkt. Das Fahrzeug F ist auf der Fahrbahn B gemäß Fig. 5a in horizontaler Richtung ausgerichtet, wobei die Fahrbahn B auch einen Fahrbahnquerneigungswinkel  $\Phi$  aufweisen kann.

Die Messgleichungen des für die Wankbewegung zuständigen Fahrzeugmodells bzw. Kalman-Filters gehen aus der Anwendung des Impulssatzes und des Drallsatzes hervor und lauten entsprechend:

$$\begin{aligned} a_y^{sensor} &= (F_{Sv} + F_{Sh}) / m + g\phi + v_{a_y} \\ a_x^{sensor} &= (F_{Uv} + F_{Uh}) / m - g\theta + v_{a_x} \\ \ddot{\Psi}^{sensor} &= (l_v F_{Sv} - l_h F_{Sh} + M_B) / J_{ZZ} + v_{\ddot{\Psi}} \end{aligned} \quad (8)$$

wobei  $v_{a_y}$ ,  $v_{a_x}$  sowie  $v_{\ddot{\Psi}}$  einem Messrauschen der entsprechend mit einem Sensor gemessenen Größen  $a_y^{sensor}$ ,  $a_x^{sensor}$  sowie  $\ddot{\Psi}^{sensor}$  entspricht. Den Seitenkräften  $F_{Sv}$  und  $F_{Sh}$  der Reifen in Querrichtung, das heißt in y-Richtung, entspricht eine Umfangskraft  $F_{Uv}$  und  $F_{Uh}$  der Reifen in Fahrzeuglängsrichtung, das heißt in x-Richtung. In die Gierbeschleunigung  $\ddot{\Psi}^{sensor}$  fließen die Seitenkräfte  $F_{Sv}$  sowie  $F_{Sh}$  jeweils multipliziert mit dem Abstand  $l_v$  sowie  $l_h$  zwischen dem Schwerpunkt S und der vorderen Fahrzeugachse  $A_v$  sowie der hinteren Fahrzeugachse  $A_h$  ge-



mäß Fig. 3 ein. Das Drehmoment  $M_B$  entspricht einem den Umfangskräften  $F_{UV,h}$  mit Radius zum Schwerpunkt S wirkenden Drehmoment.  $J_{zz}$  verdeutlicht ein Trägheitsmoment in z-Richtung, das heißt um die Hochachse des Fahrzeugs F. Die Gierbeschleunigung  $\ddot{\Psi}^{sensor}$  kann dabei aus der Gierrate  $\dot{\Psi}$  zum Beispiel mittels eines DT<sub>1</sub>-Filters ermittelt werden.

Geht das Fahrzeug F von der Wankbewegung in die Kippbewegung gemäß Fig. 5b über, so wird die Schätzung der Zustände gemäß Fig. 1 und 2 auf das zweite Fahrzeugmodell, insbesondere das zweite Kalman-Filter, übertragen. Zur Verkürzung der Einschwingphase dieses zweiten Filters wird er mit den bis dato geschätzten Zuständen des für die Wankbewegung zuständigen ersten Filters initialisiert. Der Übergang von den Schätzungen des für die Wankbewegung zuständigen ersten Filters auf die Schätzungen des für die Kippbewegung zuständigen zweiten Filters erfolgt mittels einer gewichteten Filterumschaltung gemäß Fig. 2. Innerhalb dieser Umschaltung werden die von beiden Fahrzeugmodellen bzw. Kalman-Filtern geschätzten Zustände in Abhängigkeit des Wank- bzw. Kippwinkels  $|\varphi|$  gewichtet und anschließend in der Additionseinrichtung  $\Sigma$  gemäß Fig. 1 addiert. Die Gewichtsfunktion gemäß Fig. 2 lautet dabei:

$$\hat{x}_{gB} = \hat{x}_{wank}(1 - \varepsilon) + \hat{x}_{kipp} \cdot \varepsilon \quad (9)$$

$$\text{mit: } \varepsilon = \begin{cases} 0 & , |\varphi| < |\varphi_1| \\ \frac{(\varphi - \varphi_1)}{(\varphi_2 - \varphi_1)} & , |\varphi_1| \leq |\varphi| \leq |\varphi_2| \\ 1 & , |\varphi| > |\varphi_2| \end{cases} \quad (9)$$

Hierbei liegen die beiden Winkel  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  den Bereich fest, in dem die gewichtete Umschaltung vollzogen wird (siehe Fig. 2).

$\varphi_1$  ist der Winkel des Fahrzeugs F, bei dem das erste Rad R der entlasteten Spur abhebt, der Winkel  $\varphi_2$  kennzeichnet den Winkel, bei dem auch das zweite Rad R dieser Spur den Bodenkontakt verliert. Innerhalb dieses Bereiches zwischen  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  besteht keine eindeutige Zuordnung, wohingegen außerhalb dieses Bereichs eine eindeutige Zuordnung zu einem der beiden Fahrzeugmodelle, vorzugsweise Kalman-Filter, besteht. Durch dieses gleichmäßige Überblenden der Zustände von einem auf das andere Fahrzeugmodell bzw. Filter, kann ein sprungfreier stetiger Übergang der Zustandsschätzung erreicht werden.

Die Basis für die Systemgleichung des für die Kippbewegung zuständigen Fahrzeugmodells, vorzugsweise Kalman-Filters, bilden ebenfalls der Impuls- und der Drallsatz. Beachtenswert dabei ist, dass sich die Systemgleichung im Gegensatz zu dem für die Wankbewegung zuständigen Fahrzeugmodell bzw. Filter, für die Kippbewegung über die linke und die rechte Seite des Fahrzeugs F unterscheiden. Auch innerhalb der Systemgleichung des für die Kippbewegung zuständigen zweiten Fahrzeugmodells bzw. Filters werden hochgradig nicht lineare Reifenkräfte durch Werte von Beschleunigungssensoren ersetzt. Verallgemeinert geschrieben ergeben sich die Systemgleichungen dieses zweiten Kalman-Filters zu:

$$\begin{aligned}
 a_y = \dot{v}_y &= \frac{dv_y}{dt} = -\frac{1}{\cos \varphi} \left\{ \dot{\Psi}_{\text{sensor}} v_x - \frac{1}{\xi(\varphi)} \xi(a_y^{\text{sensor}}, \varphi, \dot{\varphi}, \dot{\Psi}_{\text{sensor}}) \right\} + w_{vy} \\
 a_x = \dot{v}_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{\dot{\Psi}_{\text{sensor}} \cdot v_y}{\cos \varphi} + a_x^{\text{kor}} + g\Theta + w_{vx} \\
 \ddot{\varphi} &= \frac{d\dot{\varphi}}{dt} = -\frac{1}{g(\varphi)} \cdot \lambda(\varphi, \dot{\varphi}, a_y^{\text{sensor}}, \dot{\Psi}_{\text{sensor}}) + w_{\dot{\varphi}}
 \end{aligned} \tag{10}$$

wobei die Terme  $w_{\psi}$ ,  $w_{\psi x}$  und  $w_{\dot{\phi}}$  eine Rauschkomponente der entsprechenden Zustände wiedergibt und  $\xi, \vartheta, \lambda$  Ist-Größen darstellen. Die Systemgleichung der einzelnen Störgrößen  $w_{\psi}$ ,  $w_{\psi x}$ ,  $w_{\dot{\phi}}$  entsprechen denen des für die Wankbewegung zuständigen Fahrzeugmodells bzw. Kalman-Filters. Die Fahrbahnquerneigung  $\Phi$  und Fahrbahnquerneigungsrate  $\dot{\Phi}$  können mit diesem Filter jedoch nicht geschätzt werden, da bei kippendem Fahrzeug F keinerlei Unterschied zwischen den Auswirkungen der Fahrbahnquerneigung und dem Kippwinkel bestehen. Diese beiden Störgrößen sind somit nicht beobachtbar. Auch innerhalb dieses Filters werden die aus den Reifenkennlinien stammenden Nicht-Linearitäten in die Messgleichung überführt. Die verallgemeinerten Messgleichungen des für die Kippbewegung zuständigen zweiten Filters ergeben sich aus dem Impuls- und Drallsatz zu:

$$\begin{aligned}
 a_x^{sensor} &= \frac{\sum_{i=1}^n F_{Rx,i}}{m(1+\theta_0)} + v_{a_x} \\
 a_y^{sensor} &= \frac{\sum_{i=1}^n F_{Ry,i} \cdot \cos \varphi}{m} + \frac{\sin \varphi}{\eta(\varphi)} \sigma(\varphi, \dot{\psi}_{sensor}, F_{Ry,i}, \dot{\phi}) + v_{a_y} \\
 \ddot{\psi}_{sensor} &= \frac{\cos \varphi}{J_{yy} \sin^2 \varphi + J_{zz} \cos^2 \varphi} \varepsilon(\varphi, \dot{\psi}_{sensor}, \dot{\phi}, F_{Rx,i}, M_{Rz,i}) + v_{\ddot{\psi}} \\
 \dot{\phi}_{sensor} &= \dot{\phi} + v_{\dot{\phi}}
 \end{aligned} \tag{11}$$

wobei  $\theta_0$  einen statischen Nickwinkelanteil und der Term

$\frac{\sin \varphi}{\eta(\varphi)} \sigma$  einen Erdbeschleunigungsanteil sowie  $M_{Rz,i}$  ein Rückstellmoment wiedergibt. Alle Größen sind hier auf ein horizontales Koordinatensystem umgerechnet, woraus die  $\sin \varphi, \cos \varphi$  Anteile folgern. Anstatt die Gierbeschleunigung  $\ddot{\psi}_{sensor}$  als

Messgröße zu verwenden, kann die Gierrate  $\dot{\Psi}$  sowohl als Zustandsgröße als auch als Messgröße definiert werden. Dadurch werden zwar die Filtergleichungen des Wankbeobachters, das heißt des ersten Fahrzeugmodells bzw. Kalman-Filters, nicht-linear, allerdings kann somit die Sensoreigenschaft, insbesondere das Messrauschen, im Filter genauer berücksichtigt werden.

Unter Nutzung der von einem vorzugsweise vorhandenen ESP-System (Elektronisches Stabilitätsprogramm) bereitgestellten Bremsdrücke pro Rad, sowie der Kenntnis der Umdrehungsgeschwindigkeiten der einzelnen Räder  $R$ , lassen sich die Umfangskräfte  $F_{uh,v}$  der einzelnen Räder  $R$  des Fahrzeugs  $F$  schätzen. Dies geschieht vorzugsweise mittels eines deterministischen Luenberger-Beobachters. Dessen geschätzte Umfangskräfte  $F_u$  können innerhalb der beiden Fahrzeugmodelle bzw. Kalman-Filter prinzipiell dazu genutzt werden, den Längsbeschleunigungssensor zur Messung der Beschleunigung in  $x$ -Richtung, das heißt  $a_x^{sensor}$  zu ersetzen. Außerdem können mit Hilfe der geschätzten Umfangskräfte  $F_u$  vier zusätzliche Messgleichungen innerhalb der Kalman-Filter eingeführt werden. Darüber hinaus werden die Normalkräfte der einzelnen Räder  $R$  des Fahrzeugs  $F$  mittels eines statischen Modells oder mittels eines dynamischen Modells berechnet. Diese berechneten Normalkräfte werden für das innerhalb der beiden Kalman-Filter genutzte Reifenmodell benötigt.

Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung kann somit auf einen Bewegungszustand, insbesondere ein Wanken bzw. Kippen eines Fahrzeugs anhand einer Beschleunigungsinformation einer Beschleunigung in  $y$ -Richtung  $a_y$ , einer Gierwinkelbeschleunigung  $\dot{\Psi}$  sowie gegebenenfalls einem Beschleunigungswert in  $x$ -

Richtung  $a_x$  auf den Fahrzeugzustand, insbesondere den Wank- bzw. Kippwinkel  $\phi$  geschlossen werden. Bei der Modellierung eines Lastkraftwagens, bei welchem durch die Beladung eine erhebliche Schwerpunktverschiebung erfolgt ist darüber hinaus die Wankrate  $\dot{\phi}$  zur Nachbildung der Fahrzeugzustände erforderlich.

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar. So ist grundsätzlich auch eine andere Gewichtung als die mit Bezug auf Fig. 2 dargestellte lineare Gewichtung der entsprechenden Fahrzeugmodelle beim Übergang denkbar. Theoretisch kann die Fahrzeugmodellierung auch mittels eines einzigen Kalman-Filters bereitgestellt werden, dessen Parameter entsprechend zur Fahrzeugmodellierung angepasst werden.

DaimlerChrysler

Wied

18.12.2003

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes mit den Verfahrensschritten:

Abschätzen eines ersten Zustands eines Fahrzeugs (F) mittels eines ersten Fahrzeugmodells anhand vorbestimmter Parameter ( $\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x$ );

Abschätzen eines zweiten Zustands des Fahrzeugs (F) mittels eines zweiten Fahrzeugmodells anhand der vorbestimmten Parameter ( $\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x$ );

gewichtetes Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell beim Übergang des Fahrzeugs (F) von dem ersten Zustand in den zweiten Zustand in Abhängigkeit von mindestens einem abgeschätzten Parameter ( $\varphi$ ).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Fahrzeugmodell mittels eines ersten Kalman-Filters und das zweite Fahrzeugmodell mittels eines

zweiten Kalman-Filters Bewegungszustände des Fahrzeugs (F) nachbildet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Zustand für eine Wankbewegung des Fahrzeugs (F) und der zweite Zustand für eine Kippbewegung des Fahrzeugs (F) steht, wobei eine Wankbewegung eine Drehbewegung um eine Fahrzeuglängsachse mit Bodenkontakt aller Räder beschreibt und wobei eine Kippbewegung einer auf die Wankbewegung folgenden Drehbewegung mit Verlust des Bodenkontakts zumindest der Räder (R) einer Spur entspricht.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem gewichteten Umschalten von dem ersten Zustand auf den zweiten Zustand das zweite Fahrzeugmodell mit Parametern ( $\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x$ ) des Zustands des ersten Fahrzeugmodells initialisiert wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewichtung bei dem gewichteten Umschalten in Abhängigkeit eines geschätzten Winkels ( $\varphi$ ), vorzugsweise eines Wank- oder Kippwinkels des Fahrzeugs (F), insbesondere mit einem linearen Anstieg der Gewichtung des zweiten Fahrzeugmodells bei einem gleichzeitigen linearen Abfall der Gewichtung des ersten Fahrzeugmodells, erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,

dass die Umschaltung dann erfolgt, wenn der Winkel ( $\varphi$ ) zwischen einem ersten vorbestimmten Winkel ( $\varphi_1$ ) und einem zweiten vorbestimmten Winkel ( $\varphi_2$ ) liegt, wobei vorzugsweise der erste vorbestimmte Winkel ( $\varphi_1$ ) einen Fahrzeugwinkel beschreibt, bei welchem ein erstes entlastetes Rad (R) einer Spur abhebt, und der zweite vorbestimmte Winkel ( $\varphi_2$ ) einen Fahrzeugwinkel beschreibt, bei welchem ein zweites entlastetes Rad (R) derselben Spur den Bodenkontakt verliert.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Abschätzung des ersten Zustands als Störgrößen eine Fahrbahnlängsneigung ( $\Theta$ ), eine Fahrbahnquerneigung ( $\Phi$ ), eine Fahrbahnquerneigungsrate ( $\dot{\Phi}$ ) und/oder ein Fahrbahnreibungswert ( $\mu$ ) nachgebildet und berücksichtigt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrbahnlängsneigung ( $\Theta$ ) und die Fahrbahnquerneigungsrate ( $\dot{\Phi}$ ) durch einen Markov-Prozess nachgebildet und die Fahrbahnreibung ( $\mu$ ) als quasikonstante Größe modelliert werden.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Bestimmung eines Kippbewegung des Fahrzeugs (F) als Bewegungszustand einzelne Radbremsen des Fahrzeugs (F) selektiv aktiviert werden, um eine Stabilisierung des Fahrzeugs (F) zu erzielen.



10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Fahrzeugmodellierung die Fahrzeugmasse (m), die Lage des Fahrzeugschwerpunktes (S), der Radstand, die Spurweite und/oder die Wankcharakteristik, insbesondere die Wanksteife, und/oder die Fahrzeugdämpfung berücksichtigt wird.
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels vom Fahrzeug (F) bereitgestellter Bremsdrücke pro Rad (R) sowie mittels bereitgestellter Radumdrehungszahlen Umfangskräfte einzelner Räder (R), vorzugsweise mittels eines deterministischen Luenberger- Beobachtersystems, geschätzt werden, woraus eine Fahrzeuglängsbeschleunigung ( $a_x$ ) geschätzt wird.
12. Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes, insbesondere zum Betreiben eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, mit:
- einer ersten Schätzeinrichtung zum Abschätzen eines ersten Zustands eines Fahrzeugs (F) mittels eines ersten Fahrzeugmodells anhand vorbestimmter Parameter  $(\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x)$ ;
- einer zweiten Schätzeinrichtung zum Abschätzen eines zweiten Zustands des Fahrzeugs (F) mittels eines zweiten Fahrzeugmodells anhand der vorbestimmten Parameter  $(\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x)$ ;

einer Umschalteinrichtung zum gewichteten Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell beim Übergang des Fahrzeugs (F) von dem ersten Zustand in den zweiten Zustand in Abhängigkeit von mindestens einem abgeschätzten Parameter ( $\varphi$ ).

13. Vorrichtung nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet,

dass eine Gierbeschleunigungsmesseinrichtung, eine Querschleunigungsmesseinrichtung und vorzugsweise eine Längsbeschleunigungsmesseinrichtung und/oder eine Wankratenmesseinrichtung zum Bereitstellen der vorbestimmten Parameter vorgesehen ist.

$\frac{1}{2}$

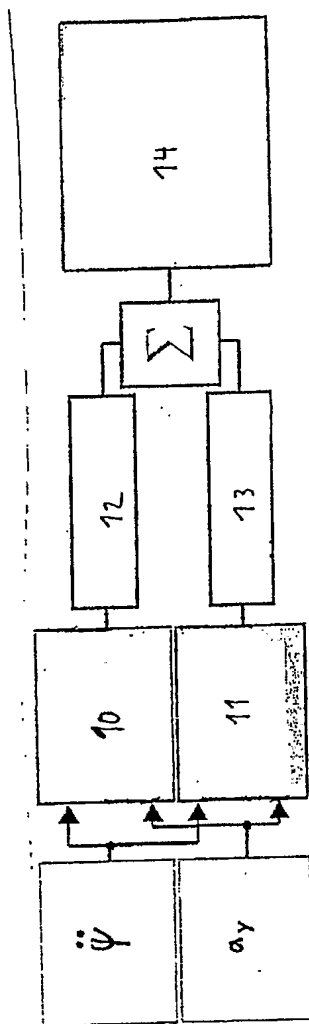


Fig. 1

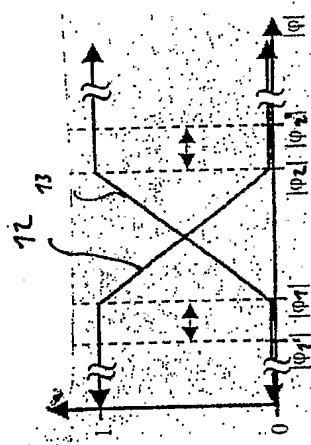


Fig. 2

2/2

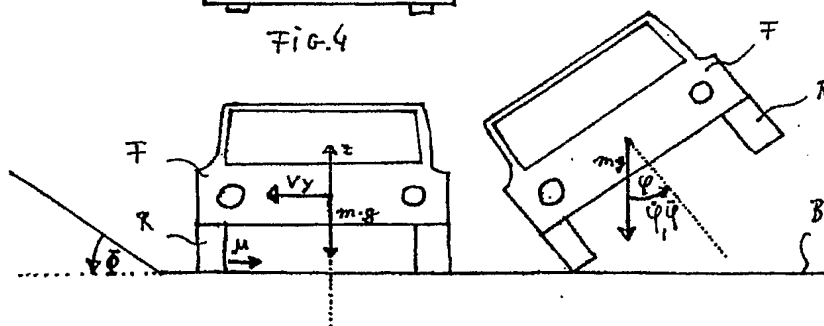
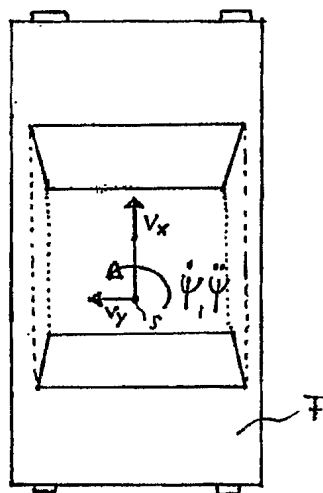
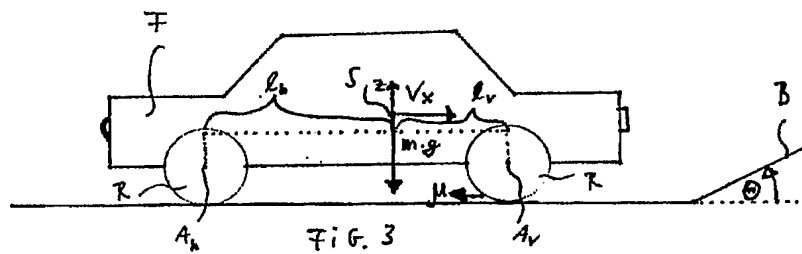


FIG. 5A

FIG. 5B

DaimlerChrysler

Wied

18.12.2003

## Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes mit den Schritten bereit: Abschätzen eines ersten Zustands eines Fahrzeugs (F) mittels eines ersten Fahrzeugmodells anhand vorbestimmter Parameter  $(\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x)$ ; Abschätzen eines zweiten Zustands des Fahrzeugs (F) mittels eines zweiten Fahrzeugmodells anhand der vorbestimmten Parameter  $(\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x)$ ; gewichtetes Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell beim Übergang des Fahrzeugs (F) von dem ersten Zustand in den zweiten Zustand in Abhängigkeit von mindestens einem abgeschätzten Parameter  $(\varphi)$ . Die vorliegende Erfindung stellt ebenfalls eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Zustands eines Fahrzeugs (F) bereit.

Fig. 1

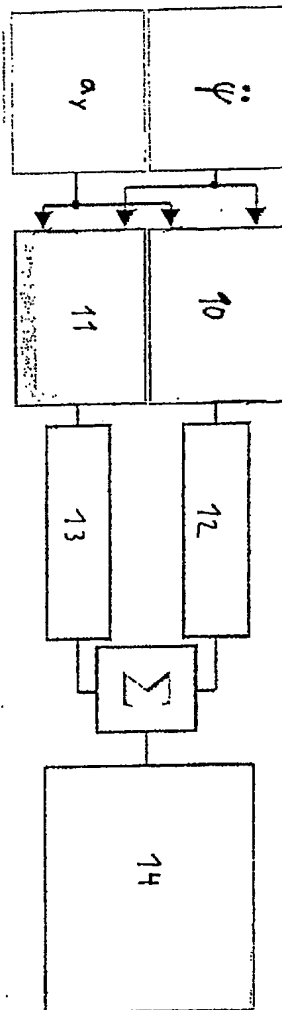


Fig. 1